

함수를 보정기와 PID제어기를 이용한
곡물 수분 건조 시스템 개발

이창근, 심우철, 박성진, 홍연찬
인천대학교 전자공학과 제어계측 연구실

A Development of the Grain Moisture Dry System
Using Water-rate Compensator and PID Controller

Chang Kuen Lee, Woo Chul Shim, Sung Jin Park, Yeon Chan Hong
Control Laboratory University of Incheon

Abstract - In this paper recommends the development of automated silo dry & storage system. Most of existing round shaped iron silo arc used for only storage after dry and have many problems in storing. So We have developed an automated dry system which used the previously equipped silo and enables it to be used for storage after dry. The system features high frequency-resistance water sensor in Hopper scale that is in general use within the country, its silo that is manufactured by the nerve DSP(TMS320C32) system water compensator, and visualization that is finally realized with a personal computer.

1. 서 론

현재 국내에서는 고품질의 쌀을 생산하고 우리 쌀의 국제 경쟁력을 높이기 위해서 전국적으로 곡물종합처리 시설인 미곡종합처리장(RPC, Rice processing Complex)를 설치하고 있다. 그러나 설치되고 있는 RPC가 충분한 기술적 검토가 이루어지지 않아 건조저장 시설부분에서 많은 문제점이 야기되고 있다. 어떠한 곡물을 저장함에 있어서 그 곡물이 함유하고 있는 수분 함유량은 그 곡물의 저장 및 곡물의 품질에 있어서 매우 중요한 파라미터가 되고 있다[1]. 따라서 곡물의 적절한 수분 함유량을 유지 관리할 수 있는 장비의 개발이 절실히 요구되어 왔다. 곡물의 건조 시스템은 건조방법, 건조하는 시간 및 건조 조건에 따라서 곡물의 품질에 커다란 영향을 미친다. 아직도 많은 농가나 영농단지에서는 태양열에 의한 자연건조를 하고 있으며 미곡 종합 처리장에서는 순환식 건조기를 사용해 건조하려고 하고 있다. 이러한 순환식 건조기는 물 버가 대량으로 반입될 때 처리 능력의 한계가 있으며 빠른 건조 속도와 고온으로 인하여 동할미 및 쉐미를 발생시키며, 이러한 건조시설 또한 설치되어 있는 RPC 또한 미비하다[2].

이러한 RPC의 환경을 개선하기 위해 본 논문에서는 PC를 이용하여 수매한 물 버를 건조 및 저장을 할 수 있는 건조저장 자동화 시스템을 개발하였다[3-5]. 논문에서 개발된 건조 시스템은 곡물의 수분 함유량을 측정하기 위해 현재 현장에서 사용되고 있는 대량, 고속의 처리가 가능한 호퍼스케일용 고주파 저항방식 수분센서를 이용하고, 비의 함수율 보정을 위해 신경망을 이용한 DSP system(TMS320C32)을 이용하여 사일로내의 곡물 수분을 제어 할 수 있는 자동화 시스템을 개발하였다[6-8]. 본 논문에서 개발한 곡물 수분 건조 자동화 시스템은 기존에 설치되어 있는 철제 원형 사일로에 쉽게 장착할 수 있도록 제작되었으며 PC를 이용한 쉬운 관리 시스템과 PID 제어기를 이용하여 안정적으로 설정 함수율값을 추종할 수 있도록 하였다.

2. 본 론

2.1 수분센서 고주파 발전

고주파 저항 방식을 이용한 수분센서의 발전 주파수는 약 12.5MHz이며 그 크기는 12V로서 실제 파형은 그림 2-1과 같다.

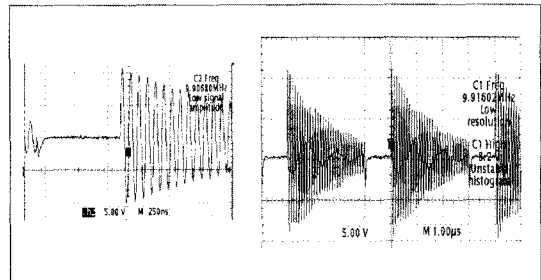


Fig. 2-1 Oscillator waveforms in humidity sensor.

그림 2-1과 같은 파형을 발생하기 위해 R-L-C병렬 회로에 적정 시간 동안 전원을 인가하여야 하며, 발전 파형의 주파수를 설정하기 위해 적당한 L값과 C값을 선택한다. 고주파를 발생하기 위한 R-L-C병렬 회로의 과도 상태의 응답을 구하면 식(2-1)과 같다.

$$\frac{v(t)}{R} + \frac{1}{L} \int v(t)dt + C \frac{dv(t)}{dt} \quad (2-1)$$

$$\frac{d^2 v(t)}{dt^2} + \frac{1}{RC} \frac{dv(t)}{dt} + \frac{1}{LC} v(t) = 0 \quad (2-2)$$

위 2계 방정식의 특성 방정식을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\lambda^2 + \frac{1}{RC} \lambda + \frac{1}{LC} = 0 \quad (2-3)$$

특성방정식의 근을 s_1, s_2 라 하면

$$s_1 = \frac{-\frac{1}{RC} + \sqrt{(\frac{1}{RC})^2 - 4\frac{1}{LC}}}{2} \quad (2-4)$$

$$s_2 = \frac{-\frac{1}{RC} - \sqrt{(\frac{1}{RC})^2 - 4\frac{1}{LC}}}{2} \quad (2-5)$$

여기서 $a = \frac{1}{2RC}, \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ 라 하면, 식(2-3)을 다음 식(2-6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\lambda^2 + 2a\lambda + \omega_0^2 = 0 \quad (2-6)$$

위의 방정식이 미흡감쇠(underdamping)하기 위한 조건은 $a < \omega_0$ 이므로, $\frac{1}{2RC} < \frac{1}{\sqrt{LC}}$ 이 되도록 R, L, C를 설정한다.

2.2 함수율 보정기

수분 센서로부터 센서값을 A/D컨버터로 입력받아서 보정 되지 않은 함수율값을 수분 컨트롤러로부터 DSP system으로 보내면 DSP system에 의해 입력된 함수율값은 학습된 신경망에 의해 보정 된다. 함수율 보정기에 사용된 신경망 구조는 그림 2.2와 같다.

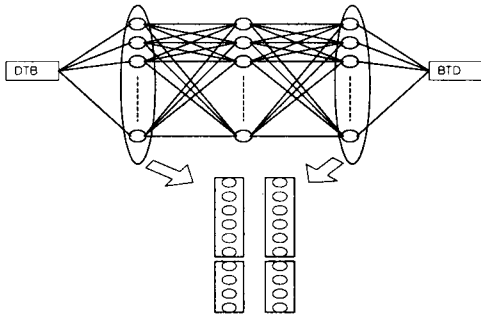


Fig. 2-2 Neural networks architecture for moisture measure.

신경망의 구성은 입력층의 뉴런 10개, 출력층의 뉴런 10개, 중간층의 뉴런 10개로 총 30개의 뉴런으로 신경망을 구성하였고, 이 신경망에 사용된 Connection은 총 200개이다. 신경망 입력층의 각 뉴런에 데이터를 입력하기 위해 신경망 앞단에 DTB(Decimal To Binary) 함수를 사용하여 구현하였고, 신경망 출력층에 이진화된 데이터를 복원하기 위해 BTD(Binary To Decimal) 함수를 사용하여 구현하였다.

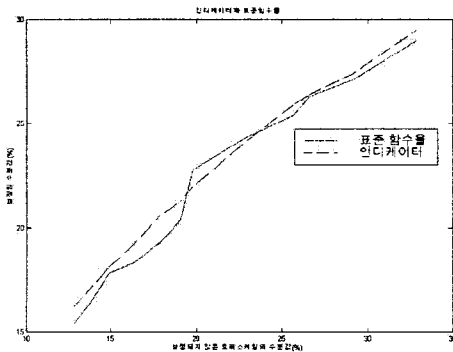


Fig. 2-3 Moisture content with standard oven method and indicator for Hopper Scale.

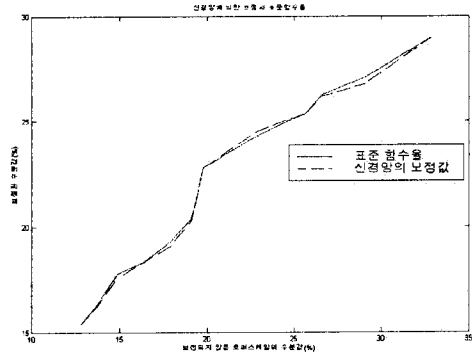


Fig. 2-4 Moisture content with standard oven method and compensator for neural networks.

그림 2-3과 그림 2-4는 신경망을 적용한 함수율 보정기에 의하여 보정된 함수율과 표준 함수율과의 오차 곡선을 보여 주고 있다. 신경망을 이용한 보정기를 사용하였을 경우 인디케이터를 이용했을 경우보다 전체 구간에서 0.3%이하의 오차가 나타난 반면 보정기를 사용하지 않았을 경우 0.3%~0.9%의 오차가 나타나고 있음을 알 수 있다.

2.3 곡물 수분 건조 시스템 개발

이 절에서는 고주파 저항방식의 수분센서와 신경망을 이용한 함수율 보정기, 그리고 PC를 이용한 곡물 수분 건조 자동화 시스템의 구성과 동작에 대하여 설명한다.

2.3.1 전체 시스템 구성도

그림 2-5는 본 논문에서 개발한 건조저장 시스템의 전체 시스템 구성도를 보여 주고 있다. 곡물저장소(사일로)로부터 곡물의 온도와 수분값을 측정하여 컨트롤러부(PA1700)을 통해 데이터를 함수율 보정부에 전달하고 전달된 데이터는 학습된 신경망에 의해 함수율이 보정 된다. 보정된 함수율 데이터는 PC에 전송되고 데이터를 수신한 PC는 PID 제어기를 통해 FAN을 제어하게 된다.

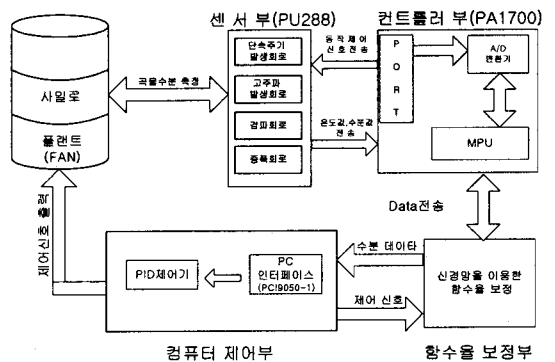


Fig. 2-5 Block diagram of the grain moisture dry automation system.

그림 2-6은 본 논문에서 실제 개발된 건조저장 자동화 시스템이다.

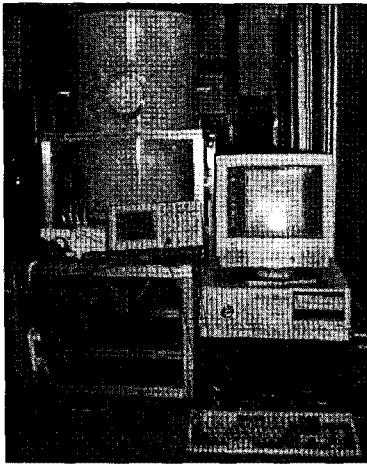


Fig. 2-6 Developed grain moisture dry system.

2.3.2 PID 제어기 설계

릴레이의 구동을 위한 단순 ON/OFF 제어의 경우에는 제어 조작량이 0%와 100% 사이를 왕래하므로 조작량의 변화가 너무 크고, 실제 목표값에 대해 지나치게 반복하기 때문에, 목표값의 부근에서 연속적으로 헌팅(Hunting)현상이 나타나게 된다. 이러한 릴레이의 특성을 보완하기 위해 본 논문에서는 PID제어기를 사용하였다. 논문에서 사용한 PID 제어 시스템의 블록도는 다음 그림 2-7과 같다.

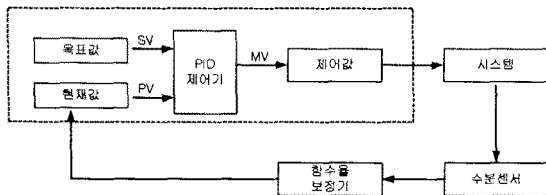


Fig. 2-7 Block diagram of PID control system.

PID 제어기에 입력되는 목표값(SV)과 현재값(PV)의 차에 의해 PID 제어기는 적절한 연산을 수행하며 현재값이 목표값을 추종할 수 있도록 적절한 제어값(MV)을 출력하여 시스템을 제어하게 된다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$MV = K \left[E_p + \frac{1}{T_i} \int_0^t E_i(s) ds + T_d \frac{dE_d}{dt} \right] \quad (2-7)$$

여기서 MV는 제어값을 나타내고, K는 비례이득, T_i 는 적분 시간, T_d 는 미분 시간을 나타낸다. 각 동작의 편차를 살펴보면 비례 동작부분의 편차인 E_p 는 $b \cdot SV - PV$, 미분 동작 부분의 편차인 E_d 는 $-PV$ 그리고 적분 동작부분의 편차인 E_i 는 $SV - PV$ 로 나타낸다. 여기서 b값은 기준값을 나타낸다.

2.4 건조 시스템 측정 및 결과

이 절에서는 본 논문에서 개발된 곡물 건조저장 자동화 시스템을 실험하기 위해 벼의 함수율을 실시간으로 모니터링 하면서 PID 제어기를 사용할 경우의 함수율

변화와 사용하지 않을 경우의 함수율 변화를 조사하여 그 특성을 비교하였다.

2.4.1 건조 시스템 측정방법

본 논문에서 개발된 건조저장 자동화 시스템을 사일로에 설치하고, 시스템 평가를 위해 곡물 건조 시험을 실시하였다. 건조 시험에 사용한 벼는 물 벼를 이용하였으며, 물 벼의 초기 함수율을 일정하게 유지하고 건조 시간에 따른 함수율 변화 특성 실험을 실시하였다. 실험에 이용한 사일로의 외벽에 고주파 저항방식 수분센서를 하층에 2개, 상층에 2개를 설치한다. 사일로 하단에 단상 송풍기를 설치하고 송풍기로부터 300mm위에 다공철판을 이용하여 송풍기에 의한 바람이 곡물에 유입될 수 있도록 하였다. 또한 곡물의 상단에 바람의 유입을 유도하기 위해 사일로 중앙에 다공철판을 이용한 지름 150mm원통을 세워 사일로 상단에 바람이 유입될 수 있도록 하였다.

2.4.2 건조 시스템 측정 결과

그림 2-8은 개발된 건조 시스템을 이용하여 PID제어기를 사용하지 않을 경우 곡물 건조 시간에 따른 함수율 변화를 나타내고 있다. 설정 함수율 15.5%에 대해 함수율이 헌팅(Hunting) 현상을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이에 비해 그림 2-9는 PID 제어기를 사용하여 곡물 건조 시간에 대한 함수율 변화를 나타내고 있는데 설정 함수율 15.5%에 대해 안정화되어 있음을 알 수 있다.

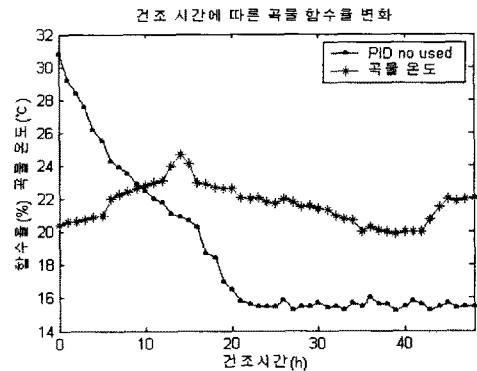


Fig. 2-8 Water-rate character curve by grain dry time (PID controller no used, 15.5%).

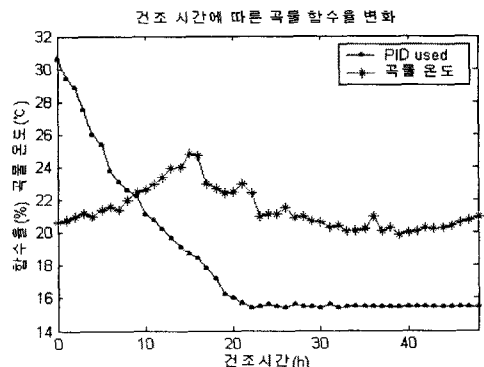


Fig. 2-9. Water-rate character curve by grain dry time (PID controller used, 15.5%).

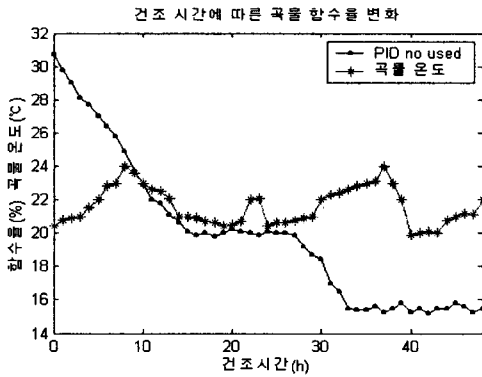


Fig. 2-10. Water-rate character curve by grain dry time (PID controller no used. 20%, 15.5%).

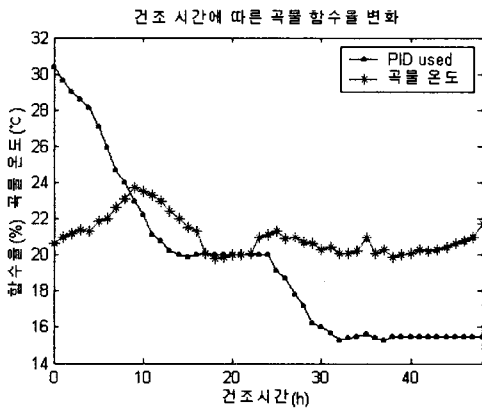


Fig. 2-11 Water-rate character curve by grain dry time (PID controller used. 20%, 15.5%).

그림 2-10과 그림 2-11은 설정 함수율값을 20%에서 15.5%로 변경하였을 경우 곡물 건조 시간에 따른 함수율 변화를 보이고 있다. 그림 2-10은 PID제어기를 사용하지 않았을 경우의 함수율 변화 곡선으로 설정 함수율값에서 헌팅(Hunting) 현상이 일어나고 있음을 알 수 있다. 이에 반해 PID 제어기를 사용한 그림 2-11은 설정 함수율값에서 안정적으로 동작하고 있음을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 현재 국내에 설치되어 있는 철제 원형 사일로에 설치하여 사용할 수 있는 곡물 건조저장 시스템을 개발하였다. 고품질의 쌀을 생산하고 우리 쌀의 국제 경쟁력을 높이기 위해서 벼의 적절한 수분 함량 유지는 매우 중요하다 할 수 있다. 그러나 RPC의 설치에 앞서 충분한 기술적 검토가 이루어지지 않아 곡물 선별, 건조 및 저장에서 많은 문제점이 야기되고 있다. 본 논문에서는 신경망을 이용한 함수율 보정기를 이용하고 PC와 PID 제어기를 이용하여 저장 사일로를 자동으로 제어할 수 있는 시스템을 개발

하였다. 고주파 저항 방식 수분센서를 사일로에 설치하여 벼의 함수율과 온도를 연속적으로 모니터링하고, 입력받은 보정된 함수율값과 설정 함수율값을 비교하여 사일로에 설치된 FAN을 자동으로 동작하여 설정한 함수율값을 유지할 수 있도록 하였다.

본 논문에서 개발한 곡물 건조저장 자동화 시스템은 기존에 설치되어 있는 철제 원형 사일로에 쉽게 설치하여 사용할 수 있어, 그 동안 설치되어 제대로 활용하지 못했던 저장 사일로를 활용도가 높은 건조저장 공간으로 활용할 수 있게 되었다. 논문에서 개발한 건조저장 자동화 시스템에서 사용한 고주파 저항방식 센서는 빠른 응답 특성과 외란의 영향에 강한 장점을 가지고 있으며, 신경망을 이용한 함수율 보정기는 국내 실정에 맞는 표준 함수율에 오차가 0.3% 이내로 우수한 특성을 나타냈다. 또한 PID 제어기를 사용하여 설정한 곡물의 함수율값을 안정적으로 제어하고 있음을 보였다.

본 논문에서는 교반기와 히터를 설치하지 않고 FAN만을 이용하여 건조저장 시스템을 개발하였지만, 교반기와 히터를 추가 설치한다면 보다 효율적인 건조저장 시스템이 될 수 있을 것이다. 현재 설치되어 있는 각종 저장 시스템에 본 논문에서 개발한 건조저장 자동화 시스템을 설치한다면 유지 관리에 있어 많은 도움이 될 것으로 기대된다.

(참 고 문 헌)

- [1] Mohamed Ben Slima, and other "Calibration of a Microwave System for Measuring Grain Moisture Content," IEEE Transactions On Instrumentation and Measurement., Vol.48, No.3, June 1999
- [2] 충북대학교 농업기계공학과 "Hopper-Scale의 함수율 예측 보정식 개발 및 정밀도 분석", 1999
- [3] 전남대학교, "Development and Automation of Separation, Drying, Storage, pneumatic Conveying Systems of Grains for Producing Rice of High Quality", 12, 1998
- [4] Hall, C.W. "Drying and storage of agricultural crops", AVI, Publishing Co. Inc, 1980
- [5] Chung, J.H. "Modeling, simulation, and automatic control for optimum drying and storage of rough rice in a bin system", Ph.D. dissertation. LSU, 1989
- [6] Boylestad & Nashelsky "Electronic circuits" Prentice Hall, 1998
- [7] 윤덕용, "TMS320C32마스터", Ohm사, 2000
- [8] Carl G. Looney, "Pattern Recognition Using Neural Network", Oxford University Press, pp. 173-175, 1977